

## EVALUACIÓN DE LA POTENCIAL REACTIVIDAD DE ARENAS UTILIZADAS COMO AGREGADO FINO EN LA ZONA DE BAHÍA BLANCA, PROVINCIA DE BUENOS AIRES.

Juan Berezosky<sup>(1,2)</sup>, Darío Falcone<sup>(3)</sup>, Francisco Locati<sup>(4)</sup>, Lenís Madsen<sup>(2,5)</sup>, Silvina Marfil<sup>(2,5)</sup>

1 Vialidad Nacional, Distrito N° 19, Bahía Blanca, [jberezosky@uns.edu.ar](mailto:jberezosky@uns.edu.ar)

2 Dpto. de Geología - Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca

3 LEMIT – CIC de la provincia de Buenos Aires, UNLP, [durabilidad@lemit.gov.ar](mailto:durabilidad@lemit.gov.ar)

4 CICTERRA (CONICET-UNC), Córdoba, [flocati@unc.edu.ar](mailto:flocati@unc.edu.ar)

5 CIC de la provincia de Buenos Aires, [smarfil@uns.edu.ar](mailto:smarfil@uns.edu.ar), [lenna\\_86@hotmail.com](mailto:lenna_86@hotmail.com)

**Palabras clave:** reacción álcali-sílice (RAS), rocas volcánicas, grado de fisuración, fluorescencia.

### RESUMEN

Se evaluó la potencial reactividad frente a la RAS de arenas provenientes de 10 canteras de la provincia de Buenos Aires, proveedoras de agregado fino. Para ello se determinó el contenido modal de cada tipo litológico mediante petrografía con microscopio óptico. Paralelamente se evaluó la reactividad alcalina potencial a través del método acelerado de la barra de mortero (IRAM 1674). Luego de cumplido el tiempo de ensayo, las barras fueron estudiadas mediante petrografía sobre secciones impregnadas con fluoresceína sódica y se determinó el grado de fisuración de las mismas operando con luz UV incidente a través de imágenes de fluorescencia y posterior procesamiento informático. Todas las muestras presentan expansiones superiores a 0,1% a los 16 días (entre 0,155 y 0,751 %). Teniendo en cuenta la composición petrográfica modal y los estudios realizados sobre las barras post-ensayo, se observa que la expansión y el grado de fisuración están en directa relación con el contenido de trizas de vidrio de las arenas.

### INTRODUCCIÓN

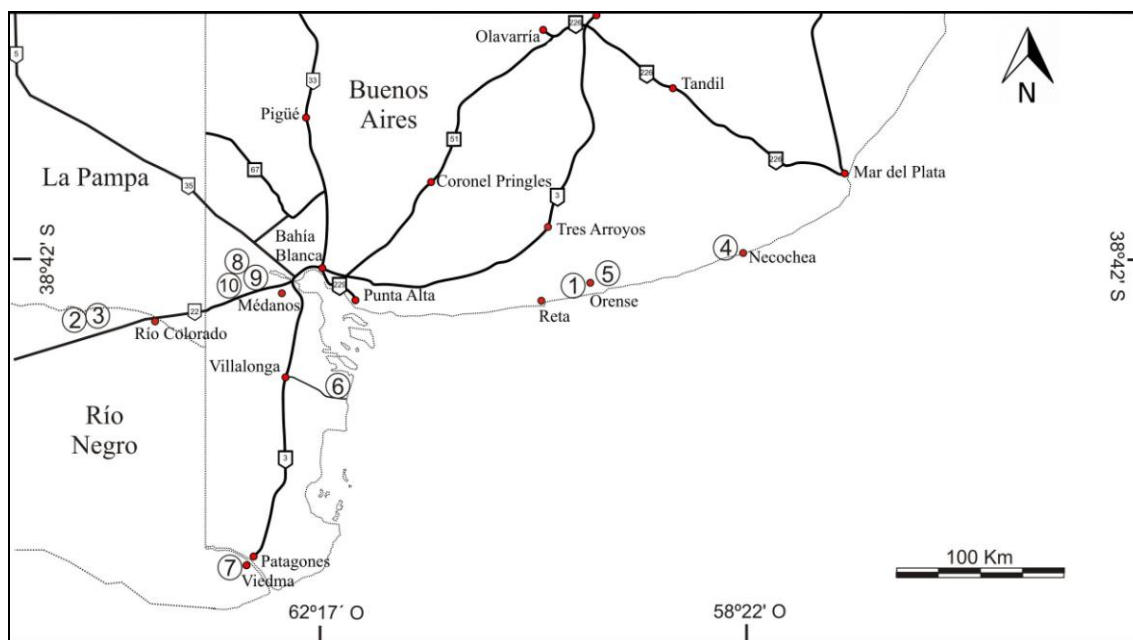
En el sur de la provincia de Buenos Aires existen antecedentes de pavimentos de hormigón afectados por el desarrollo de la reacción álcali-sílice (RAS) debido a que las arenas que constituyen el agregado fino contienen vidrio volcánico (presente como pasta de las rocas volcánicas y en partículas individuales) (1). En general, el material utilizado como agregado fino en la zona de Bahía Blanca está constituido por más del 50 % de rocas volcánicas, la mayoría con pastas vítreas (frescas y parcialmente alteradas a minerales arcillosos) (2,3). Además, es frecuente la presencia de trizas de vidrio volcánico fresco en porcentajes que oscilan entre 5 y 15 %. Sin embargo, las diferentes canteras de la provincia de Buenos Aires poseen mezclas de éstos y otros materiales geológicos en proporciones

muy variables, por lo que una cuidadosa caracterización petrográfica y evaluación de su reactividad alcalina potencial a través de ensayos normalizados es crucial a la hora de optar por un proveedor de agregado fino para la realización de obras de hormigón.

Si bien son numerosos los trabajos realizados sobre las canteras que se encuentran en proximidades a la zona de Bahía Blanca, no se conocen antecedentes acerca del comportamiento frente a la (RAS) de los depósitos que se encuentran en el área costera entre Claromecó y Orense (provincia de Buenos Aires) y en la zona de Río Colorado (provincia de Río Negro). El propósito del presente trabajo es evaluar la potencial reactividad de arenas provenientes de canteras proveedoras de agregado fino a la zona sur de la provincia de Buenos Aires, utilizando el método acelerado de la barra de mortero (IRAM 1674) y comparar los resultados obtenidos con la presencia y abundancia de materiales deletéreos y el grado de fisuración que presentan las barras post-ensayo.

## MATERIALES

Se relevaron y muestrearon 10 canteras de arena, 7 del sur de la provincia de Buenos Aires y 3 ubicadas en el sector este de la provincia de Río Negro. El material extraído se utiliza en la industria de la construcción, principalmente como agregado para hormigón. En la Figura 1 se indica la ubicación de cada cantera donde es posible observar que 4 se encuentran en proximidades de la costa bonaerense, 3 a orillas de los ríos Colorado y Negro, y 3 en la zona de Médanos en el partido de Villarino. En las canteras 1 y 5 se observaron dos niveles estratigráficos bien definidos por lo que se realizó una división (A y B) para una mejor evaluación.



**Figura 1:** Ubicación de las canteras de arena.

## MÉTODOS

Para evaluar la reactividad alcalina potencial de las arenas se realizaron ensayos físicos (método acelerado de la barra de mortero) según las especificaciones de la norma IRAM 1674 (4). Luego de cumplido el tiempo de ensayo se confeccionaron secciones delgadas convencionales para determinar el contenido modal de cada tipo litológico mediante petrografía con microscopio óptico de polarización. Se contaron las partículas presentes en el campo del microscopio (10 campos por muestra) y se calculó el valor promedio. Para ello se utilizó un microscopio Olympus, trinocular BH-2.

De forma complementaria se impregnó una porción de la barra de mortero con resina fluorescente (utilizando fluoresceína) y se observó con luz UV incidente utilizando un microscopio Leica DM4500 P LED. Luego se realizó un procesamiento informático de las imágenes para determinar el grado de fisuración de las mismas.

## RESULTADOS

### Método acelerado de la barra de mortero (IRAM 1674)

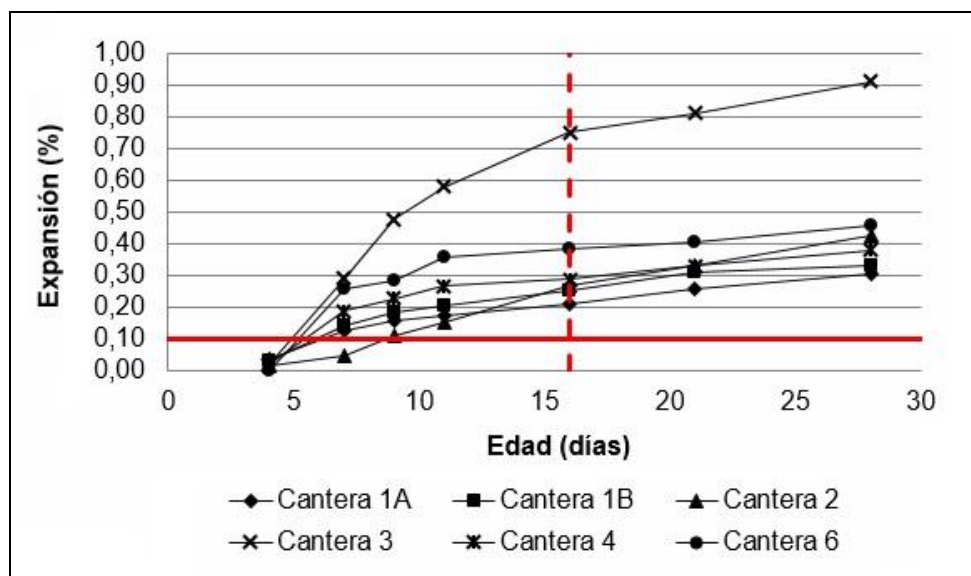
En la Tabla 1 se muestran los valores de expansión para cada una de las muestras analizadas. En las Figuras 2 y 3 se grafican los resultados y se comparan con el límite máximo establecido en las normas de agregados y en el Reglamento CIRSOC 201 (0,1 % a los 16 días). Puede observarse que todas las muestras analizadas se comportan como potencialmente reactivas, aunque los resultados son muy variables y oscilan entre 0,155 % y 0,751 %. Incluso se observan variaciones dentro de una misma cantera.

**Tabla 1:** Expansión en el ensayo acelerado de la barra de mortero (IRAM 1674)

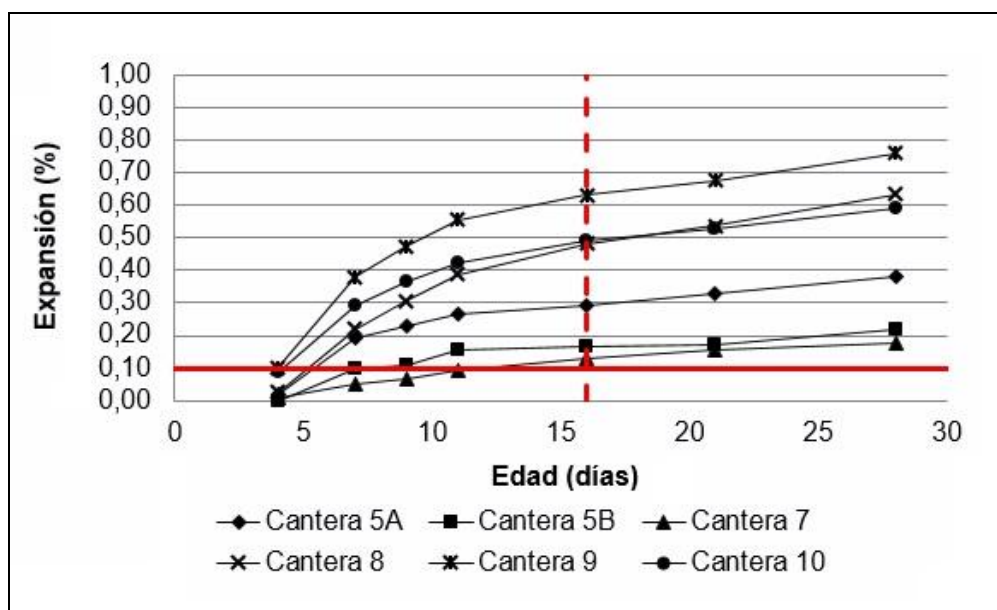
Cantera / Muestra	% de expansión a la edad de (días)						
	4	7	9	11	16	21	28
1 / A	0,037	0,126	0,159	0,176	<b>0,211</b>	0,257	0,303
1 / B	0,030	0,140	0,184	0,208	<b>0,254</b>	0,308	0,334
2	0,015	0,048	0,109	0,155	<b>0,271</b>	0,334	0,426
3	0,020	0,292	0,476	0,580	<b>0,751</b>	0,810	0,909
4	0,021	0,188	0,228	0,228	<b>0,288</b>	0,329	0,381
5 / A	0,021	0,192	0,230	0,230	<b>0,290</b>	0,329	0,381
5 / B	0,000	0,097	0,111	0,111	<b>0,168</b>	0,173	0,221
6	0,000	0,260	0,285	0,285	<b>0,382</b>	0,404	0,460
7	0,009	0,053	0,066	0,092	<b>0,155</b>	0,176	0,215
8	0,027	0,219	0,306	0,388	<b>0,537</b>	0,634	0,716
9	0,102	0,379	0,474	0,555	<b>0,677</b>	0,761	0,834
10	0,089	0,293	0,364	0,424	<b>0,526</b>	0,589	0,640

### Determinación de la composición del agregado fino mediante análisis modal

En la Tabla 2 se muestra la composición petrográfica modal (valores promedio de 10 mediciones), donde puede observarse que el contenido de materiales potencialmente reactivos (partículas individuales de vidrio volcánico (trizas) + rocas volcánicas con pastas vítreas + calcedonia) varía entre 8,4 y 36,2 %. En la Figura 4 (a y b) se observa un sector de la barra de mortero (con microscopio óptico) de las muestras de las canteras 3 y 5 que mostraron grandes diferencias de expansión en el ensayo acelerado y en el contenido de agregados potencialmente reactivos.



**Figura 2:** Expansión en el método acelerado de la barra de mortero (IRAM 1674) de las muestras de las canteras 1, 2, 3, 4 y 6.

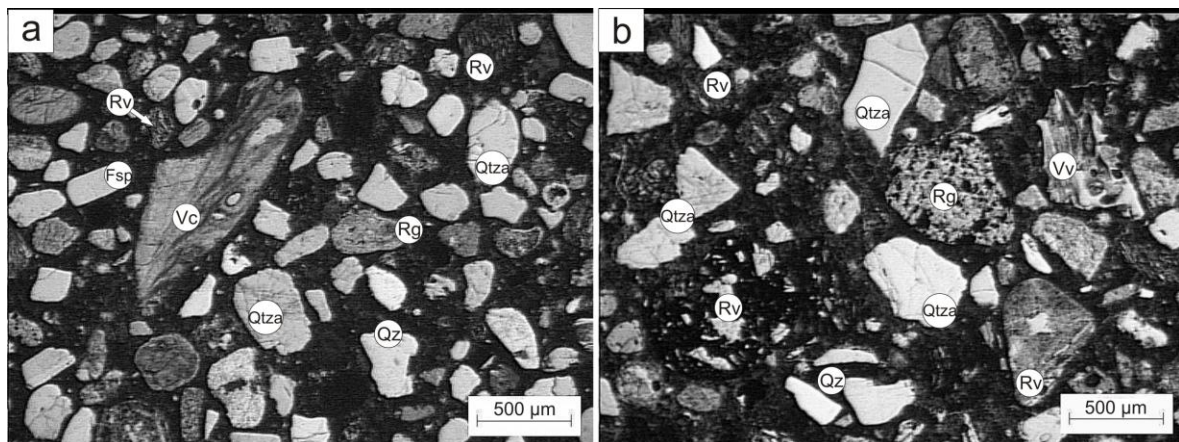


**Figura 3:** Expansión en el método acelerado de la barra de mortero (IRAM 1674) de las muestras de las canteras 5, 7, 8, 9 y 10.

Se graficó la expansión medida en las barras de mortero vs. el contenido de vidrio volcánico y rocas volcánicas. En la figura 5a se muestra los resultados a los 16 días donde es posible observar que hay una correlación positiva entre la expansión y el contenido de vidrio volcánico. No hay efecto *pessimum*. Por otro lado, no se observó buena correlación entre la expansión y el porcentaje de rocas volcánicas. En la Figura 5b se observa mucha dispersión en los resultados. Esto se debe a que no todas presentan pastas vítreas.

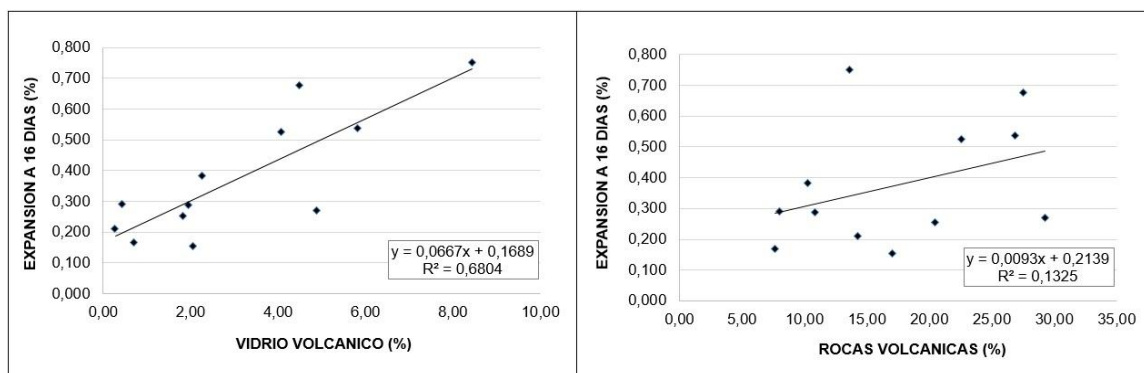
**Tabla 2:** Composición modal. Qtz: cuarzo; Fsp: feldespato; Vc: valvas carbonáticas; Rv: rocas volcánicas; Rg: rocas graníticas; Qtza: cuarcita; Vv: vidrio volcánico; Calc: calcedonia; Mo: minerales opacos; Px – Am: piroxenos – anfíboles; Tca: tosca.

Cantera / Muestra	Composición modal (%)										
	Qtz	Fsp	Vc	Rv	Rg	Qtza	Vv	Calc	Mo	Px- Am	Tca
1 / A	31,1	9,6	7,2	14,2	20,7	7,8	0,3	0,0	2,0	5,2	1,9
1 / B	27,3	9,3	14,0	20,5	12,1	8,4	1,8	2,6	1,4	2,6	0,0
2	16,7	15,5	0,0	29,2	11,4	7,9	4,9	0,0	3,2	11,2	0,0
3	40,1	11,2	0,0	13,6	2,1	16,3	8,4	0,0	0,9	7,4	0,0
4	39,7	7,4	13,8	10,8	2,4	8,1	2,0	3,2	6,9	5,7	0,0
5 / A	22,9	16,9	11,6	8,0	27,2	7,8	0,4	0,0	0,2	4,6	0,4
5 / B	26,6	15,3	4,2	7,7	26,3	8,5	0,7	0,0	3,8	6,9	0,0
6	23,3	9,2	6,6	10,2	26,0	8,8	2,3	1,6	3,8	8,2	0,0
7	37,0	9,2	0,0	17,0	21,6	8,3	2,0	0,0	0,0	4,9	0,0
8	28,1	8,3	0,0	26,9	15,7	8,0	5,8	0,0	1,1	3,7	2,4
9	16,5	14,4	0,0	27,4	22,3	8,6	4,5	0,0	0,0	4,5	1,8
10	14,4	13,6	0,0	22,6	28,7	8,9	4,1	0,0	2,9	4,8	0,0



**Figura 4:** a. Cantera 3. b. Cantera 5/B. Qz: cuarzo; Fsp: feldespato; Vc: valvas carbonáticas; Rv: rocas volcánicas; Rg: rocas graníticas; Qtza: cuarcita; Vv: vidrio volcánico

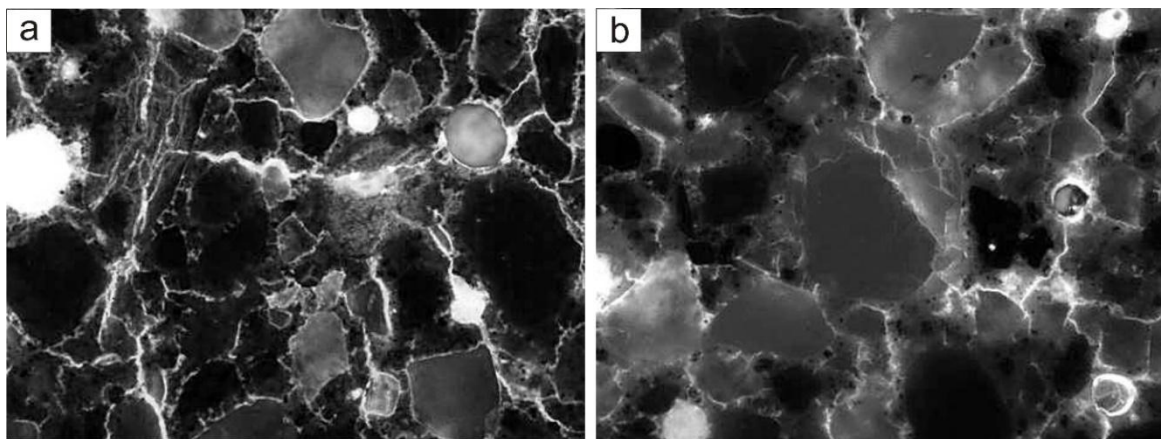




**Figura 5:** a. Relación entre la expansión medida en las barras de mortero a los 16 días y el contenido de vidrio volcánico b. expansión vs. contenido de rocas volcánicas.

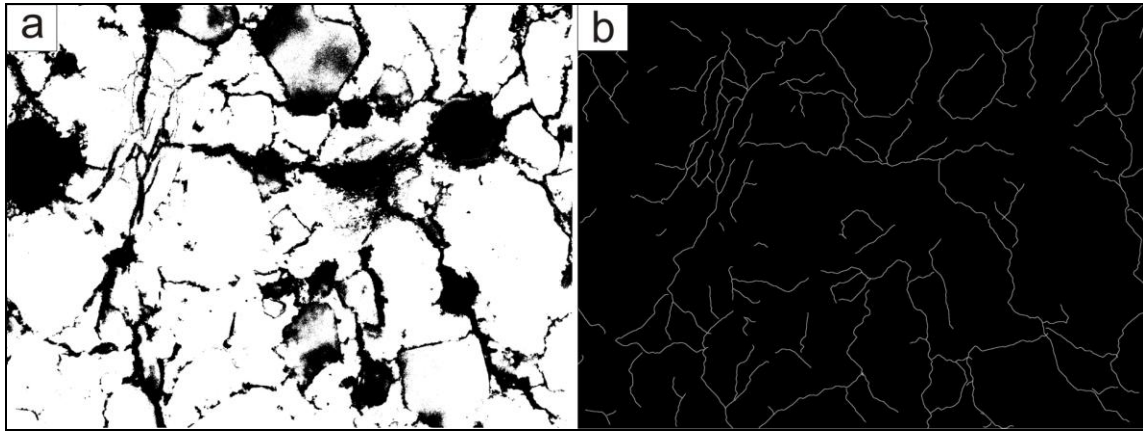
### Evaluación del grado de fisuración de las barras de mortero

Para el análisis se seleccionaron las muestras de las canteras 3 y 5/B debido a que tienen gran diferencia en los valores de expansión y que se trata de materiales de diferente origen (marino y fluvial). Se realizaron cortes delgados impregnados con resina fluorescente (utilizando fluoresceína sódica) y se observó al microscopio óptico con luz UV incidente. Se tomaron 10 imágenes por cada muestra. En la Figura 6 (a y b) se muestran dos imágenes de las canteras mencionadas vistas con luz UV.



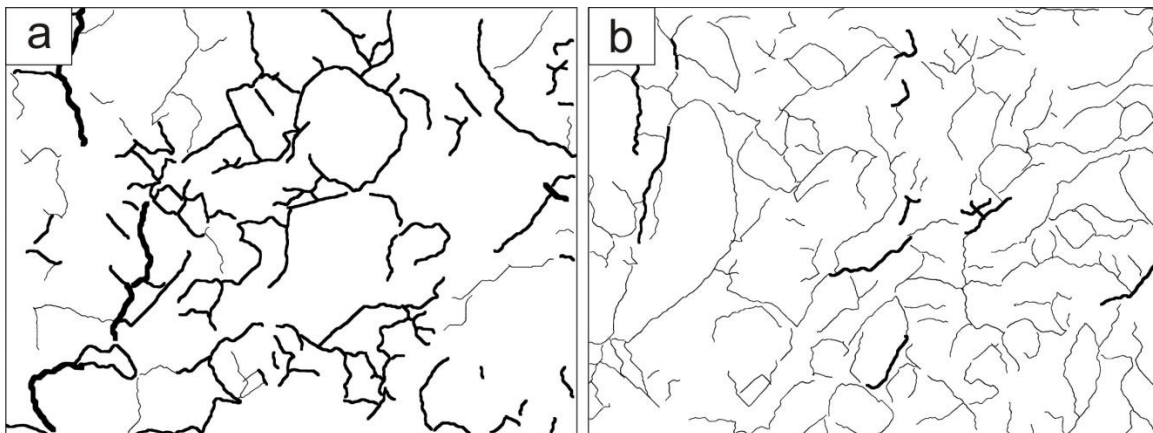
**Figura 6:** Fisuras en las barras de mortero vistas con luz UV. a. Cantera 3. b. Cantera 5/B.

Se procesó cada una de las fotomicrografías con el programa ImajeJ (5) para obtener una imagen binaria (blanco y negro) de los sectores teñidos (Figura 7a). Debido a que la fluoresceína ocupa espacios vacíos, no solo tiñe las fisuras (en la pasta, agregado e interfase), sino también cavidades o poros de la pasta y de los agregados. Por lo tanto, para discriminar cada una de las fisuras en cada imagen, se realizó un mapeo en forma manual, asistido por el pulgín NeuronJ (6) que se instala en el mismo software (Figura 7b). Luego, teniendo en cuenta la escala, se calibró la imagen adjudicando un valor del píxel para poder realizar la medición (en milímetros) del largo total de las fisuras. Por último, considerando el área de la imagen, se calculó la densidad de fisuras (en  $\text{mm}/\text{mm}^2$ ). En la Tabla 3 se muestra los resultados promedio de las 10 imágenes procesadas por cada muestra.



**Figura 7** a. Imagen binaria de los sectores teñidos en la Figura 6a. b. Fisuras marcadas a partir del software en la misma imagen.

Si bien la muestra 3 evidencia una expansión de 0,909% a 28 días y la muestra 5/B de 0,221%, ambas poseen valores promedio de densidad de fisuras similares considerando su gran desvío estándar ( $5,24 \pm 0,7$  y  $4,24 \pm 1,0$  mm/mm<sup>2</sup> respectivamente). Teniendo en cuenta que este método no considera el ancho de fisura y que de la observación de las imágenes surgieron claras diferencias en este parámetro, entre la muestra que arrojó mayor y menor expansión, se volvieron a mapear las fisuras dividiéndolas en 3 categorías según su ancho. Esto se hizo con una imagen de la muestra 3 y una de la 5/B que presentan valores de densidad de fisura similares (6,12 y 6,15 mm/mm<sup>2</sup> respectivamente) a fin de evaluar si la inclusión del ancho, y no solo el largo por el área analizada, mostraba correlación con la expansión medida en las barras de mortero. Las tres categorías consideradas son: Tipo I: aquellas con espesores de ~255 micras, Tipo II: con espesores de ~140 micras y Tipo III con espesores de ~32 micras. El valor elegido en cada categoría surgió de medir el ancho de fisura en los tres tipos generales de fisuras reconocidas. En la Figura 8 se muestra los resultados obtenidos. En la Figura 8a (cantera 3) se observa que hay pocas fisuras Tipo I y III y predominan las Tipo II mientras que en la Figura 8b (cantera 5/B) no se observan fisuras Tipo I, predominan las Tipo III y son escasas las Tipo II.



**Figura 8:** Área fisurada según categorías I, II y III. a. imagen de cantera 3 con densidad de fisura de 6,12 mm/mm<sup>2</sup>. b. imagen de cantera 5/B con densidad de fisura de 6,15 mm/mm<sup>2</sup>.

A partir de estas nuevas imágenes se calculó el área fisurada (superficie que abarcan las fisuras con su espesor definido según la categoría asignada sobre el área total de la

imagen). En la Tabla 3 se puede observar que el porcentaje de área fisurada en la muestra que dio más expansión en el método acelerado de la barra de mortero (cantera 3), duplica el valor obtenido en la muestra con menos expansión (cantera 5/B).

**Tabla 3:** Densidad de fisuras promedio y área fisurada.

Cantera/ Muestra	Densidad de fisuras (mm/mm <sup>2</sup> )		Área fisurada (%)
	Promedio	Desvío estándar	
3	5,24	0,7	8,0
5/B	4,24	1,0	4,1

## CONCLUSIONES

- Todos los agregados finos estudiados se califican como potencialmente reactivos según los resultados obtenidos en los estudios petrográficos y en el método acelerado de la barra de mortero.
- Las especies deletéreas identificadas son vidrio volcánico (como partículas individuales y rocas volcánicas con pastas vítreas) y calcedonia.
- Los valores de expansión en las barras de mortero se relacionan con el contenido de vidrio, sin que se observe un efecto *pessimum*. Por otro lado, no se observa buena correlación entre la expansión y el contenido de rocas volcánicas, probablemente debido a que no todas tienen pastas vítreas.
- Del procesamiento de las imágenes de fluorescencia obtenidas mediante microscopio con luz UV se concluyó que el área fisurada está relacionada con la expansión medida en el ensayo acelerado, no así la densidad de fisuras ya que este último parámetro no considera el ancho de las mismas.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la UNS, al CICTERRA (CONICET-UNC), a la CIC de la Prov. de Bs. As. y al LEMIT por el apoyo brindado. Este trabajo fue en parte financiado por el PICT-2014 N° 2483.

## REFERENCIAS

1. Berezosky J., Lescano L., Locati F., Maiza P., Marfil S. "Behaviour of reactive sands in concrete. A case of study". International Conference on Sustainable Structural Concrete, La Plata, (2015), 349-358.
2. Maiza P., Marfil S. "Estudio de cortes delgados sobre barras de mortero con agregados finos y gruesos utilizados en la zona de Bahía Blanca". Hormigón. Revista de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón (AATH), N° 19, (1991), 31-39.
3. Marfil S., Maiza P. "Los agregados utilizados en la construcción en la zona de Bahía Blanca". Sinergia 2004. XVII Congreso argentino de mecánica de suelos e ingeniería geotécnica. III Cong. argentino de presas y aprovechamientos hidroeléctricos. VII Simposio de geología aplicada a la ingeniería y al medio ambiente. III Simposio argentino de mecánica de rocas. V Reunión sobre preparación y uso de mapas temáticos. Córdoba, (2004), 8 pp.
4. IRAM 1674. "Agregados. Determinación de la reactividad alcalina potencial. Método acelerado de la barra de mortero", Instituto Argentino de Normalización y Certificación (1997), 15 pp.
5. Rasband, W.S., ImageJ, U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, <http://imagej.nih.gov/ij/>, 1997-2016.
6. Meijering, E., Jacob, M., Sarria, J., Steiner, P., Hirling, H., Unser, M. "Design and Validation of a Tool for Neurite Tracing and Analysis in Fluorescence Microscopy Images". Cytometry Part A, Vol. 58, N° 2, (2004), 167-176.